

**Raport științific**

privind implementarea proiectului în perioada decembrie 2014 – decembrie 2015

**a. Calculul barierelor de fisiune in cadrul modelului in paturi cu doua centre prin utilizarea unei interactii de pairing realiste**

Interactia de impechere (pairing) joaca un rol important in calculul barierei de fisiune. In acest raport am investigat o interactie de imperechere realista de tip gaussian intre nucleoni

$$v(r_{12}) = v_0 \exp\left(-\frac{r_{12}}{r_0}\right)$$

unde  $v_0 = 35$  MeV si  $r_0 = 2$  fm sunt parametri determinati experimental in canalul de singlet de experimente de imprastiere, iar  $r_{12}=r_1-r_2$  este distanta dintre punctele  $r_1$  si  $r_2$ . Parametrul de gap a fost calculat in aproximatia Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS) cu taria interactiei  $G_{ij}$  dependenta de starile  $i$  si  $j$ :

$$\Delta_i = \frac{1}{2} \sum_j \frac{G_{ij} \Delta_j}{\sqrt{(\epsilon_j - \lambda)^2 + \Delta_j^2}}$$

corelata cu conditia fixarii numarului de particule  $N_p$

$$N_p = \sum_i v_i^2.$$

Probabilitatea de ocupare a starii  $i$  este data de relatia standard

$$v_i^2 = \frac{1}{2} \left[ 1 - \frac{\epsilon_i - \lambda}{\sqrt{(\epsilon_i - \lambda)^2 + \Delta_i^2}} \right]$$

iar  $u_i^2=1-v_i^2$ . Aici, taria interactiei este

$$G_{ij} = - \int \int v(r_{12}) |\phi_i(\vec{r}_1)|^2 |\phi_j(\vec{r}_2)|^2 d\vec{r}_1 d\vec{r}_2$$

Valoarea medie a energie de gap a intregului sistem este definita astfel

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum_i u_i v_i \Delta_i}{\sum_i u_i v_i}$$

Aceasta definitie amplifica importanta nivelelor uniparticula localizate in vecinatatea energiei Fermi. Vom determina modul in care se comporta gap-ul de imperechere mediu si energia Fermi in cazul procesului de fisiune a  $^{234}\text{U}$ . Pentru obtinerea valorilor Delta si lambda avem nevoie de cunoasterea functiilor de unda si energiilor uniparticula de-a lungul caii de dezintegrare. Pentru a obtine calea de dezintegrare optima, am utilizat principiul minimei actiuni in cadrul modelului cu doua centre. In urma minimizarii functionalei actiunii a fost obtinuta bariera de fisiune reprezentata in figura 1 functie de distanta dintre centrele fragmentelor R.

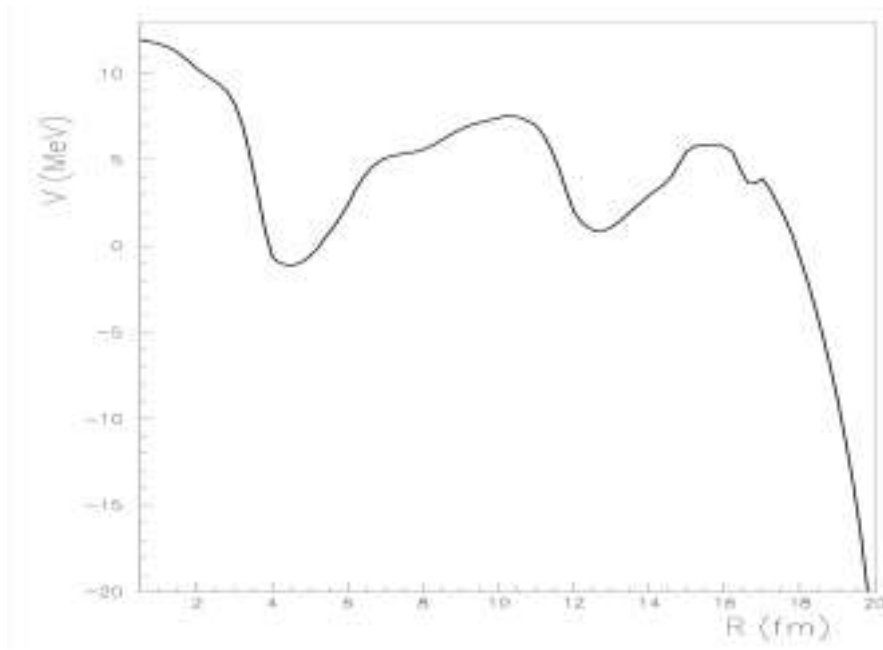


Fig.1 Bariera de fisiune functie de distanta dintre centrele fragmentelor R.

Cu ajutorul modelului in paturi Woods-Saxon cu doua centre au fost calculate atat functiile de unda cat si energiile uniparticula de-a lungul traiectoriei de fisiune. Au fost rezolvate ecuatiile BCS, obtinandu-se gap-urile de imperchere si energiile Fermi, atat pentru neutroni cat si pentru protoni. Acestea sunt reprezentate in figurile 2 si 3 in functie de distanta internucleara.

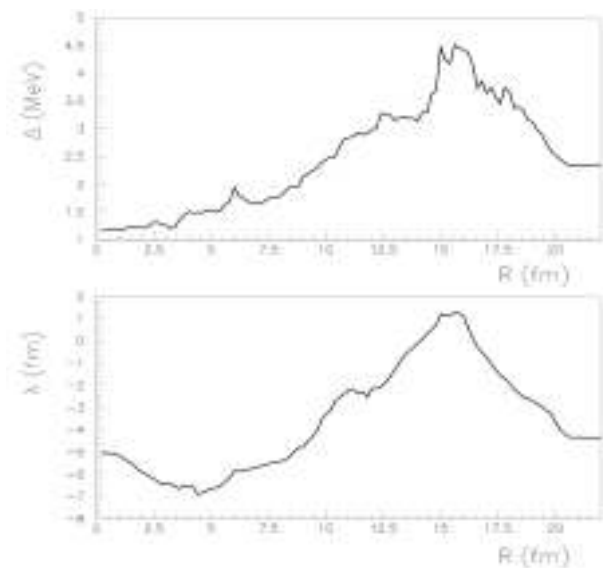


Fig.2. Gap-ul de imperechere si energia Fermi pentru schema de nivele neutronica de-a lungul caii de fisiune.

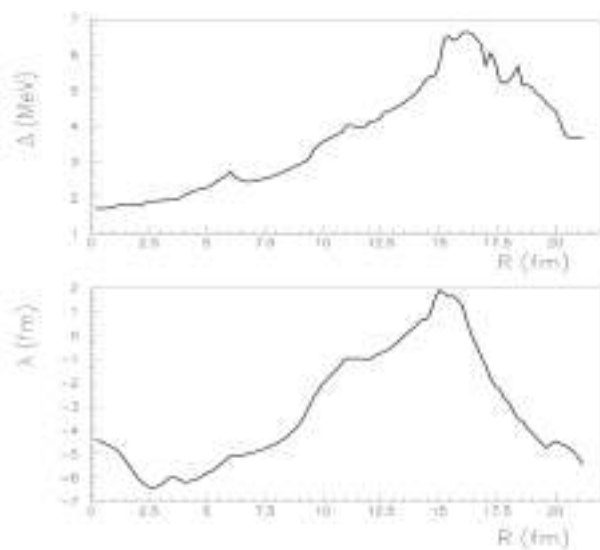


Fig.3. Gap-ul de imperechere si energia Fermi pentru schema de nivele protonica de-a lungul caii de fisiune.

Se observa, pentru ambii izospini ca energia Fermi este minima in zona starii fundamentale pentru  $R=4.5$  fm. Energia Fermi creste functie de distanta internuclear avand un maxim in zona celei de a doua bariere la  $R=15$  fm. Se stie ca densitatea de nivele creste foarte mult in zona celei de a doua bariere, motiv pentru care efectele de paturi si imperechere sunt foarte mici. Acest aspect reflecta faptul ca nucleul devine mai instabil in zona celei de a doua bariere.

În ceea ce privește gap-urile, acestea au valori apropiate de 1 MeV în configurația stării fundamentale, în conformitate cu datele experimentale. De asemenea, gap-urile cresc foarte mult în zona celei de a doua bariere stabilizându-se după sciziune la valori ce reflectă faptul că masele celor două fragmente sunt cel puțin de două ori mai mici decât a nucleului părinte. Creșterea gap-urilor în zona de sciziune conduce la o stabilitate crescută a nucleului părinte în zona celei de a doua bariere, având un efect contrar celui dat de variația energiei Fermi. Stabilitatea crescută se datorează faptului că un gap mare împiedică excitațiile de cvaziparticula, deoarece energia cvaziparticulei este mai mare. Dacă nu ar exista această stabilizare dată de împerechere, nucleul ar trebui să emită un număr foarte mare de neutroni de preciziune, având în vedere că energia Fermi se apropie de zero în zona celei de a doua bariere. Numărul mic de neutroni de preciziune obținut experimental poate fi explicat și ca urmare a existenței interacției de împerechere realiste dependente de stare.

### b. Sistemica lungimii de coerență de pairing în nuclee

În partea a doua a acestui raport am investigat lungimea de coerență a interacției de împerechere în nuclee. Acest parametru caracterizează distanța de corelație în nucleul atomic datorată unui anumit tip de interacție biparticula. Aceasta mărime este definită de relația următoare

$$\xi(R) = \sqrt{\int_0^\infty dr r^2 w(r, R)}$$

unde integrandul  $w(r, R)$  este densitatea funcției de undă biparticula dependentă de raza relativă  $r$  și a centrului de masă  $R$  a sistemului, integrată față de unghiul relativ. Funcția biparticula a fost considerată în canalul dominant de singlet al interacției de împerechere tratată în aproximația BCS incluzând atât stările discrete cât și rezonanțele înguste din continuum.

În analiza noastră am considerat interacția nucleară biparticula de tip gaussian

$$v(r_{12}) = v_0 \exp\left(-\frac{r_{12}}{r_0}\right)$$

corespunzând mai multor valori ale parametrului radial  $r_0$ :

- (a) parametrul standard de singlet (2 fm),
- (b) valoarea razei nucleare geometrice și
- (c) valoarea selfconsistentă.

În această ultimă variantă am rezolvat ecuațiile BCS cu o condiție suplimentară în care am identificat lungimea de coerență cu parametrul radial al interacției gaussiene. Această presupunere este bazată pe faptul că valoarea lungimii de coerență în afara nucleului tinde la valoarea standard de singlet (a) iar în interiorul său crește din cauza principiului de excluziune Pauli.

Forma caracteristică a lungimii de corelație este dată în figura 4(a) în cazul densității normale și în figura 4(b) în cazul densității anormale de pairing.

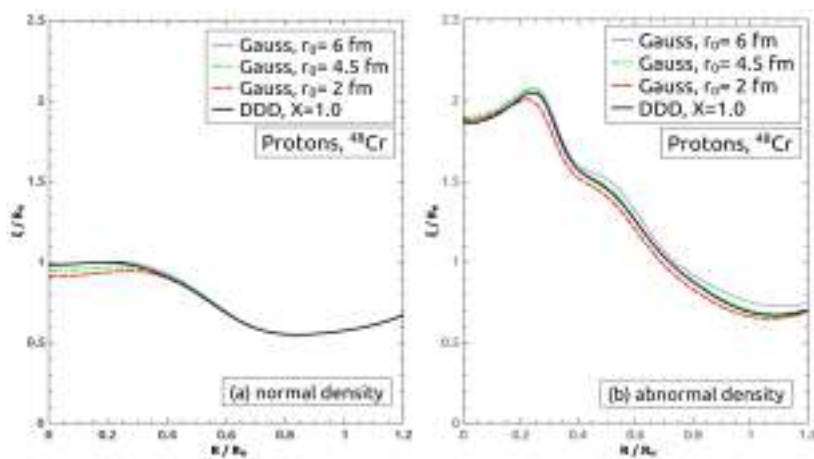


Fig. 4. Lungimea de coerență funcție de raza centrului de masă pentru densitatea normală (a) și anormală (b)

În analiza noastră am considerat lungimea de coerență dată de densitatea anomala de împerechere. În cazul (a) am obținut un rezultat remarcabil și anume că pentru nucleele ușoare valoarea tarii interacției care reproduce valoarea experimentală a parametrului de gap este apropiată de valoarea din vacuum, după cum se vede din figura 5(a) pentru sistemul protonic și figura 5(b) pentru cel neutronic.

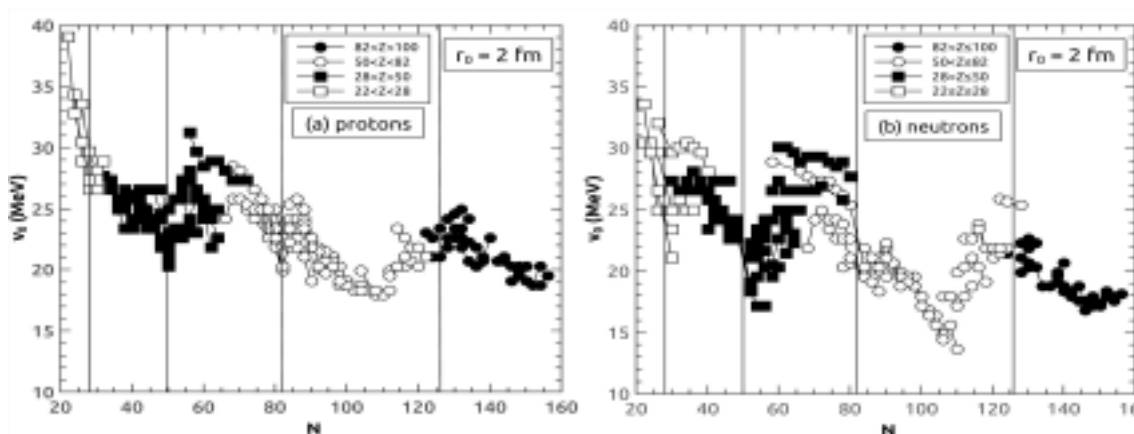


Fig.5. Taria interacției care reproduce parametrul de gap experimental pentru sistemul protonic (a) și cel neutronic (b) în cazul valorii standard a razei interacției gaussiene.

O altă concluzie importantă este dată de sistematica corelației funcției de numărul de neutroni. Din figura 6 rezulta că pentru nucleele ușoare lungimea de corelație depășește raza geometrică a nucleului în timp ce pentru nucleele grele aceasta tinde la valoarea razei geometrice. Acest fapt este în concordanță cu ipoteza (b). O concluzie similară este dată de procedura selfconsistentă (c), după cum se vede din figura 7.

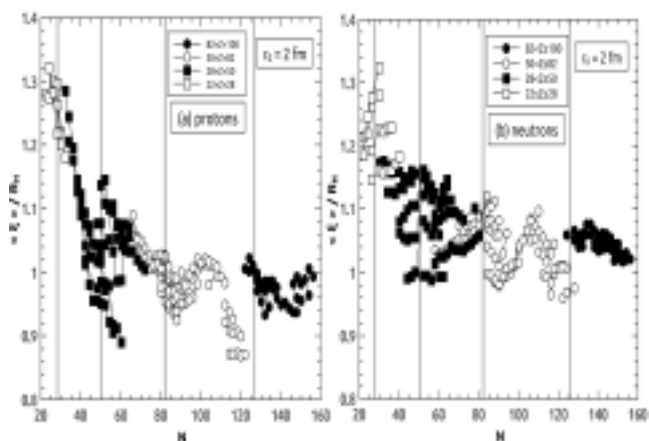


Fig. 6. Raportul dintre lungimea de coerență și raza nucleară funcție de numărul de neutroni pentru sistemul protonic (a) și neutronic (b) în cazul largimii standard a interacției gaussiene.

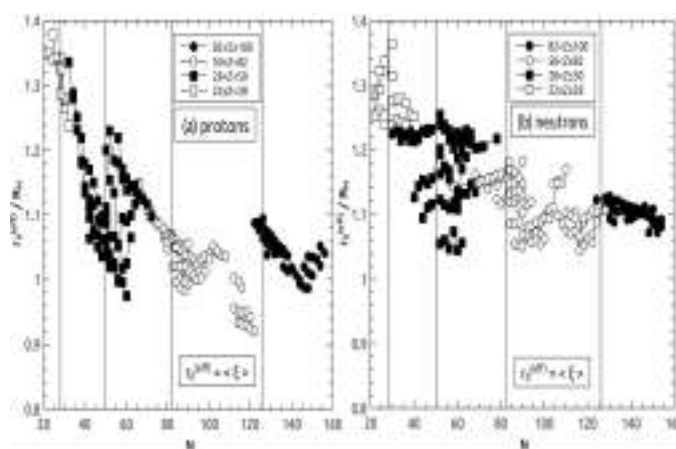


Fig. 7. Raportul dintre lungimea de coerență și raza nucleară funcție de numărul de neutroni pentru sistemul protonic (a) și neutronic (b) în cazul selfconsistent.

### Lucrări publicate

- 1. Alpha decay fine structure in even-even nuclei**, D.S. Delion, A. Dumitrescu, Atomic Data Nuclear Data Tables **101** (2015) 1.
- 2. Pairing versus quarteting coherence length**, D.S. Delion, V.V. Baran, Physical Review C (2015) 024312.
- 3. Double beta decay within a consistent deformed approach**, D.S. Delion, J. Suhonen, Physical Review C **91** (2015) 054329
- 4. Systematics of the alpha decay to excited states**, D.S. Delion, A. Dumitrescu, Physical Review C **92** (2015) 021303(R)
- 5. Exact estimate of the alpha-decay rate and the semiclassical approach for deformed nuclei**, D.S. Delion, R.J. Liotta, and R. Wyss, Physical Review C **92** (2015) 052301(R)

**6. Coherent state description of the alpha emission spectrum**, A. Dumitrescu, D.S. Delion, Romanian Journal of Physics 60 (2015) 767-771

**7. Pairing coherence length in nuclei**, V.V. Baran, D.S. Delion, Romanian Journal of Physics 60 (2015) 722-726

#### Lucrări în curs de publicare

**8. Sume-rules and Goldstone modes from extended RPA theories in Fermi systems with spontaneously broken symmetries**, D.S. Delion, P. Schuck, and M. Tohyama, European Physical Journal **B** (submitted)

**9. A simple approach to alpha-decay fine structure**, D.S. Delion, M. Patial, R.J. Liotta, R. Wyss, Physical Review **C** (submitted)

**10. New numerical approach for two-proton emission**, L. Ixaru, D.S. Delion, Computer Physics Communications (submitted)

#### Prezentari la conferinte internationale

**1. Systematics of the  $\alpha$ -decay fine structure in even-even nuclei**, A. Dumitrescu, D.S. Delion XIX International Conference of Young Scientists and Specialists, February 16-20, 2015, Dubna, Russia, [http://omus.jinr.ru/conference2015/participants\\_en.php#section3](http://omus.jinr.ru/conference2015/participants_en.php#section3)

**2. Spatial properties of pairing and quarteting correlations in nuclear systems**, V.V. Baran, D.S. Delion, International Conference Nucleus-nucleus 2015, June 21-26, 2015, Catania, Italy, <https://ahgenda.infn.it/getFile.py/access?contribId=352&sessionId=10&resId=0&materialId=slides&confId=5235>

Director proiect  
Dr. Doru S. Delion

